



Vindmøller i en dansk skov

Lawaetz, Henrik

Publication date:
2009

Document Version
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

Citation (APA):
Lawaetz, H. (2009). *Vindmøller i en dansk skov*. Danmarks Tekniske Universitet, Risø Nationallaboratoriet for Bæredygtig Energi. Denmark. Forskningscenter Risoe. Risoe-R No. 1687(DA)

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Vindmøller i en dansk skov

Henrik Lawaetz

Risø-R-1687(DA)

Forfatter: Henrik Lawaetz
Titel: Vindmøller i en dansk skov
Afdeling: Vindenergi

Risø-R-1687(DA)
Marts 2009

Abstract:

The wind conditions over forests are illustrated and the economic conditions are calculated for a wind farm installed in the Danish forest "Klosterheden".

ISSN 0106-2840
ISBN 978-87-550-3742-7

Sider: 13
Figurer: 8
Referencer: 9

Afdelingen for Informationsservice
Risø Nationallaboratoriet for
Bæredygtig Energi
Danmarks Tekniske Universitet
Postboks 49
4000 Roskilde
Danmark
Telefon 46774004
bibl@risoe.dk
Fax 46774013
www.risoe.dtu.dk

Indhold

Forord	4
Sammenfatning	4
Vindforhold over skove	5
Klosterheden	7
Vindforholdene omkring Klosterheden	7
Elproduktion	8
Økonomiske forhold	9
Referencer	12

Forord

I Danmark står der vindmøller på mange steder, hvor det blæser godt, og hvor der typisk er et vis afstand til naboer. Det kan derfor være vanskeligt at finde flere steder, hvor der kan stå møller, især i lyset af at de nye møller er større end de eksisterende og derfor efter gældende regler skal have en relativ stor afstand til naboer.

Der findes dog en række områder, hvor af en eller flere grunde ikke er opført vindmøller. Et eksempel herpå er skovområder, som hidtil har været friholdt. Nu fås vindmøllerne imidlertid så høje, at vindforholdene i rotorhøjde ikke er påvirket ret meget af vindforholdene i nærheden af den underliggende skov.

Sammenfatning

Vindhastighederne over en skov kan overslagsmæssigt beregnes på traditionel vis under hensyntagen til træhøjden og ruheden. På baggrund af målinger og beregninger tyder meget på, at vindforholdene 30-40 meter over trætoppene kun påvirkes svagt af den underliggende skov, og at de næsten er upåvirket i højder over 150 meter. Det kan derfor forventes, at en ny stor vindmølle med en ekstra tårnhøjde svarende til træhøjden vil have nogenlunde samme elproduktion som en mølle uden for skoven.

I Vestjylland ligger en af Danmarks største skove, Klosterheden, med et samlet skovareal på 64 km². På baggrund af beregninger af vindhastighederne i 100 meters højde er det vurderingen, at møller opstillet i skoven med en tårnhøjde på omkring 100 meter vil have en elproduktion på 2.400-2.800 MWh/MW i et normalår.

Under hensyntagen til gældende afstandskrav til naboer, fortidsminder og særlige naturområder er det skønnet, at der i Klosterheden er plads til omkring 100 møller med en samlet effekt på 200-250 MW.

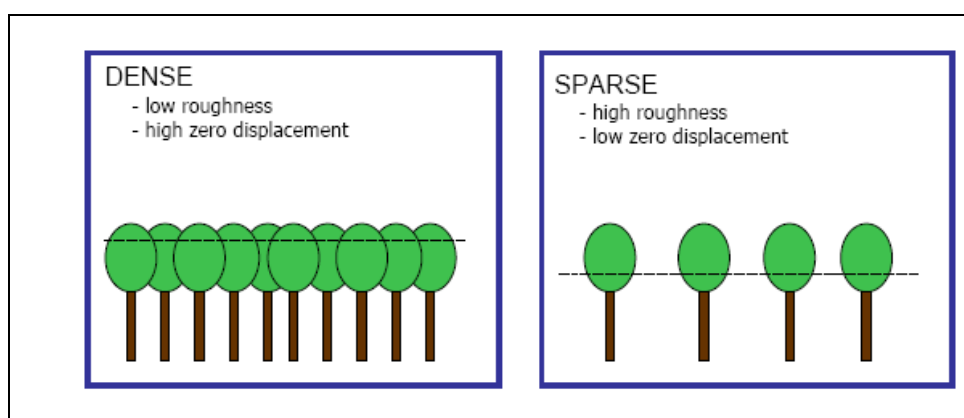
I forhold til vindmøller opstillet i åbent landskab kan det forventes, at meromkostninger til højere tårn, adgangsveje mv. fordyrer møllerne i skoven med omkring 10 % ligesom det forventes, at vindforholdene især i skovkanten er lidt mere turbulente, hvorved lasterne på møllerne øges, hvilket overslagsmæssigt øger omkostninger til vedligeholdelse med ca. 10 %.

Med de gældende afregningsregler og en fremtidig elmarkedspris på 35 øre/kWh forventes en mølleinvestering at resultere i en intern rente på 8-9 % over 20 år svarende til en nutidsværdi pr. MW på 4-6.000 kr. med en kalkulationsrente på 2 % eller 2-3.000 kr. med 5 %. Til sammenligning regnes traditionelt med, at forrentningskravene til skovdrift er 2 % over en omdriftsperiode på 60-120 år. Da vindmøllerne ikke forhindre skovdriften, vil der således kunne opnås en væsentlig forbedring af skovens driftsøkonomi ved opførelse af vindmøller.

Vindforhold over skove

Måling af vindforhold i og over skove er en omfattende opgave. Der foreligger derfor kun relativt få målinger, og der er endnu ikke færdigudviklet beregningsprogrammer til simulering heraf. Dette forventes dog at ske i fremtiden bl.a. på baggrund af igangværende forskningsprojekter om vindforhold tæt på og over skove. F.eks. arbejdes der i /1/ med en hypotese om, at strømningen tæt på og over en skov kan beskrives ved en kombination af modeller: en model for et skifte i terrænuheden, en model for et skift i effektiv terrænhøjde og skov-specifikke korrektioner af vindprofilen. Ved at analysere vinddata målt over skov og med nye felteksperimenter vil modellerne blive udviklet.

Vindhastighederne over skove kan overslagsmæssigt beregnes på traditionel vis under hensyntagen til træhøjden (displacement) og ruheden (roughness z_0). Disse kan ikke fastlægges med stor præcision idet de afhænger af variationer træernes højde og afstand, løvmængde mv., som illustreret på figur 1.

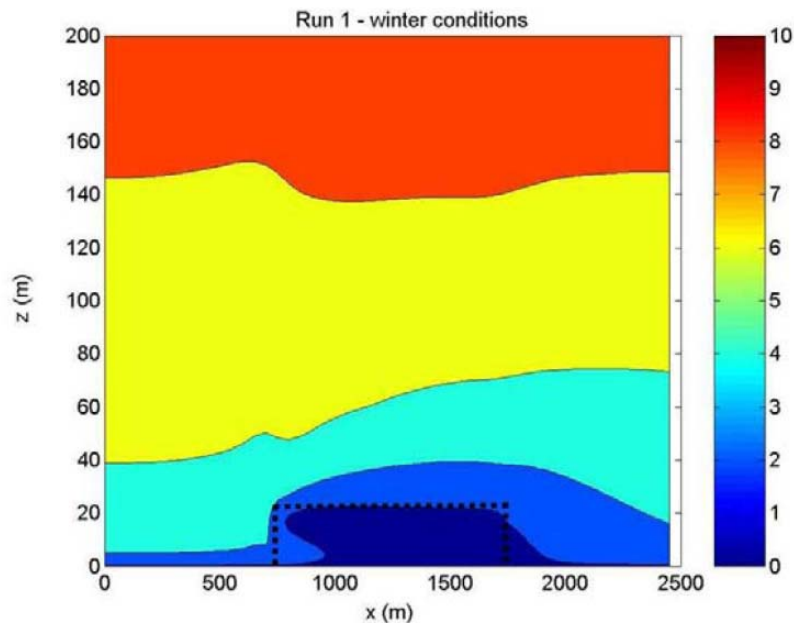


Figur 1

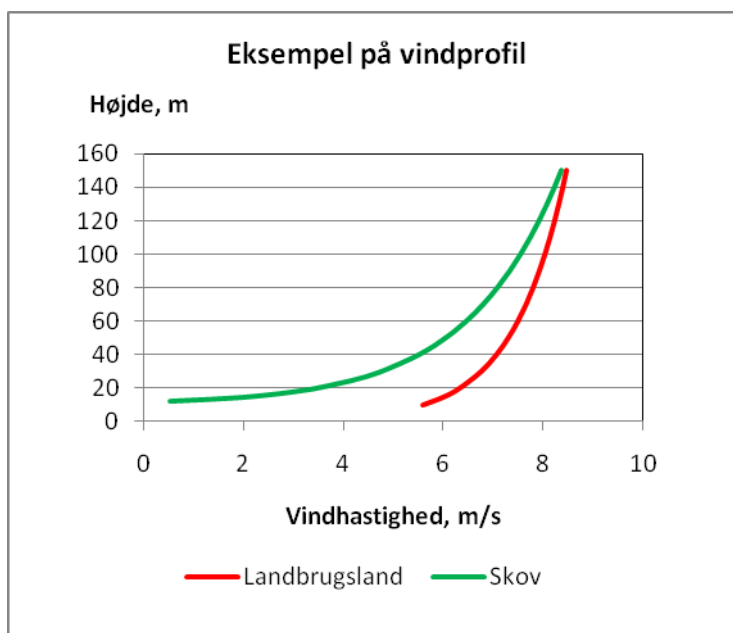
På baggrund af målinger over en mindre skov, er der i /2/ beregnet vindhastigheder omkring og over skoven som vist på figur 2. Det ses heraf, at vindhastighederne påvirkes meget lige omkring skovgrænsen og i lagene umiddelbart over trætoppene. Højere oppe, dvs. over 50-60 meter er vindhastighederne kun svagt påvirket, og de forekommer næsten upåvirket i højder over 150 meter.

Erfaringerne fra de hidtidige målinger tyder på, at vindhastighedsprofilen for højder mere end 25 meter over den regningsmæssige træhøjde (displacement) med tilnærmelse følger en traditionel logaritmisk funktion med en korresponderende ruhedslængde på mellem 1 og 2 meter, /3/.

I forhold til traditionelle landbrugsarealer er ruheden større over en skov, hvorfor der ud over hensyntagen til træhøjden også vil være en anden vindprofil. Dette er illustreret på figur 3, hvor et vindprofil over landbrugsland er optegnet sammen med et over en skov under forudsætning af et displacement i skoven på 10 meter og en ruhedslængde på 1,5 m.



Figur 2. Beregning af vindhastighed over skov angivet med punktline Ref. /2/



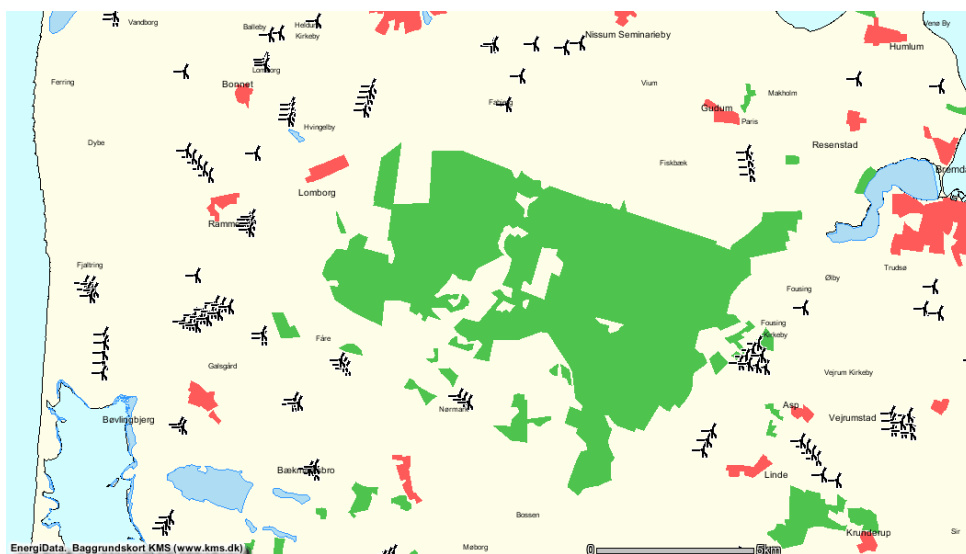
Figur 3. For skoven er displacement 10 m og ruhed 1.5 m

For en vindmølle i en skov vil der i forhold til en på det åbne land typisk være en større variation i vindhastighederne fra top til bund af det overstrøgne areal (shear), og især i skovkanten en større turbulens. Dette kan der dog i nogen grad kompenseres for ved at anvende en større tårnhøjde.

Med figurens eksempel ses, at vindhastighedsforholdene for en vindmølle med en navhøjde på 80 meter og rotordiameter på 80 meter i et landbrugsområde er sammenlignelig med forholdene i en skov for en tilsvarende 20 meter højere vindmølle med en navhøjde på 100 meter.

Klosterheden

Skoven ”Klosterheden” er beliggende i Vestjylland vest for Struer, syd for Lemvig og med en afstand til Vesterhavet på lidt under 10 km, jævnfør figur 4.



Figur 4 Ref. /4/

Skoven er ejet af staten, og med et samlet areal på ca. 6.400 ha udgør den et af de største skovområder i Danmark. Størstedelen af området er nåletræsplantage, der er plantet på de tidligere hedearealer.

Gennem de senere år er der plantet mere løvskov, og der er planer om at dyrke en del arealer naturnært, hvilket vil resultere i en blandingsskov med flere træarter i forskellige aldre på samme areal. I fremtiden vil man i stedet for traditionel plantning lade skoven så sig selv til erstatning for de ældste træer, der fældes eller får lov til at dø af alderdom, /5/.

Hedesletterne er aflejret af smeltevand i slutningen af istiden og området gennemfures af et antal smeltevandsdale med nogle af landets reneste vandløb. Spredt rundt i skoven findes et antal fortidsminder i form af store bronzealderhøje og mindre høje fra stenalderen.

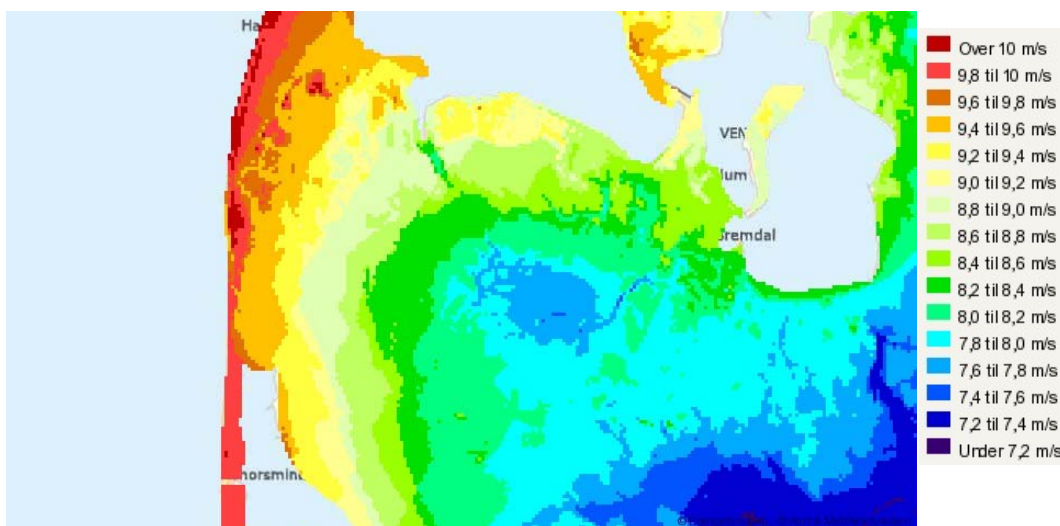
Vindforholdene omkring Klosterheden

Som det fremgår af kortet på figur 4 er der en del vindmøller rundt omkring skoven. Ved opslag i vindmølleregisteret, /4/, findes, at for de største møller på 600-1000 kW i nærheden af skoven er den årlige produktion i et vindmæssigt normalår (2008) t 1.800-2.300 MWh/MW. For disse møller med en navhøjde på 40-50 meter er det en produktion som typisk opnås ved middelvindhastigheder på årsbasis på omkring 6 m/s.

En traditionel beregning af middelvindhastigheden kan findes på By- og Landskabsstyrelsens hjemmeside, /6/. Desuden er der her udviklet et program til beregninger af afstand til beboelse til hjælp til kommunernes vindmølleplanlægning.

For området omkring Klosterhede plantage er middelvindhastigheden i 100 meters højde vist på figur 5. Det fremgår heraf, at vindhastigheden aftager med afstanden fra vestkysten og at den er beregnet til omkring 7,5 m/s over den centrale del af Klosterheden, mens den er over 8 m/s vest for skoven.

Beregningerne er formentligt alene gennemført med almindelig hensyntagen til landskabets ruhed, og der indgår således næppe nogen særlig hensyntagen til skovens højde eller særlige ruhedsforhold.



Figur 5 Middelvindhastigheder i 100 meters højde. Ref. /6/

Elproduktion

Selvom der som anført er usikkerhed omkring vindforholdene over skove, så kan det ud fra de hidtidige målinger og beregninger forventes, at en stor vindmølle i en skov med en ekstra tårnhøjde svarende til skovens displacement vil have nogenlunde samme produktion som en mølle umiddelbart uden for skoven, forudsat at ”frihøjden” (afstand mellem trætop og vingen i den nederste stilling) er større end 30-40 meter.

For typiske nye 2 MW mølle med en tårnhøjde på 70-80 meter kan der ved opstilling umiddelbart vest for Klosterheden forventes en middelvindhastighed i navhøjden på omkring 7 m/s og dermed en normalårsproduktion på 2.400-2.800 MWh/år pr MW.

En tilsvarende produktion kan forventes for vindmøller opstillet i Klosterheden med en tårnhøjde på omkring 100 meter. Ved opstilling af mange møller tæt på hinanden vil de dog i et mindre omfang ”skygge” for hinanden, således at produktionen gennemsnitlig reduceres lidt. Overslagsmæssigt vurderes reduktionen at være omkring 5 % for en større vindmøllepark.

Efter gældende regler må vindmøller ikke placeres nærmere naboer end 4 gange højden. For møller op til 150 meter vil der således være et afstandskrav på 600 meter.

Som hjælp til kommunernes vindmølleplanlægning er der udarbejdet kortgrundlag, hvoraf det umiddelbart fremgår, hvor der findes områder med mere end 600 meter til beboelse. For området ved Klosterheden er dette vist på figur 6.



Figur 6 Ref. /6/.

Det fremgår heraf, at såfremt der ikke tages andre hensyn, vil der kunne placeres vindmøller i over halvdelen af arealet. Under forudsætning af en mølleafstand på minimum 5 gange rotordiameteren, vil der for 2-2,3 MW møller med en rotordiameter på 80-90 meter kunne placeres 5-6 møller pr km^2 , eller over 200 møller med en samlet effekt på over 400 MW.

Der er dog også andre hensyn at tage. Som nævnt er der fortidsminder, ligesom nogle af arealerne, primært langs vandløbene, er udlagt som natura 2000-områder. I øvrigt er hele skoven fredsskov, hvorfor der i givet fald skal gives dispensation til opførelse af vindmøller.

I praksis skønnes der derfor kun at være plads til omkring 100 møller med en samlet effekt på omkring 200-250 MW.

Økonomiske forhold

Overslagsmæssigt regnes med, at en ny stor vindmølle i Danmark koster omkring 9 mio. kr. pr MW inklusiv fundament, nettilslutning mv., dog undtaget evt. værditabserstatning til naboer.

De gennemsnitlige driftsomkostninger over en 20-årig periode forventes at være omkring 10 øre/kWh inklusiv omkostninger til salg og balancering af elproduktionen.

Disse forventede omkostninger er i overensstemmelse med oplysningerne i en nyere international prisundersøgelse, /7/.

Med de nu gældende afregningsregler ydes der til en vindmølles elproduktion ud over elmarkedsprisen et pristillæg på 25 øre/kWh i 22.000 fuldlasttimer samt en kompensation på 2,3 øre/kWh for balanceringsomkostninger mv.

Rentabiliteten af mølleinvesteringen er afhængig af elmarkedsprisen. De fremtidige elpriser kendes ikke, men den seneste fremskrivning fra Energistyrelsen, /8/, resulterede i et gennemsnitligt prisniveau på ca. 35 øre/kWh frem mod 2025.

Den faktiske udvikling i elprisen år for år er stærkt afhængig af meteorologiske forhold som vindhastigheder og nedbør i Norden. Derudover har sammenfald af havarier på produktionsanlæg og/eller forbindelser afgørende betydning.

Ved opstilling af vindmøller i skove må der regnes med større omkostninger til højere tårne. Baseret på fabrikantangivelser af vægten af tårnet som funktion af højden, kan det overslagsmæssigt beregnes, at et 25 meter højere tårn til en 2 MW vindmølle koster 0,6-1,2 mio. kr. ekstra forudsat en stålpris på 10-15 kr/kg.

Det kan ikke forventes, at det umiddelbart er muligt at placere store vindmøller i en skov uden at etablere nye eller forstærke eksisterende skovveje. De samlede meromkostninger ved placering i skoven skønnes i forhold til placering i landbrugsområder skønnes at være op mod 1 mio. kr. pr MW, hvorfor den samlede anlægsomkostning bliver knap 10 mio. kr. pr MW

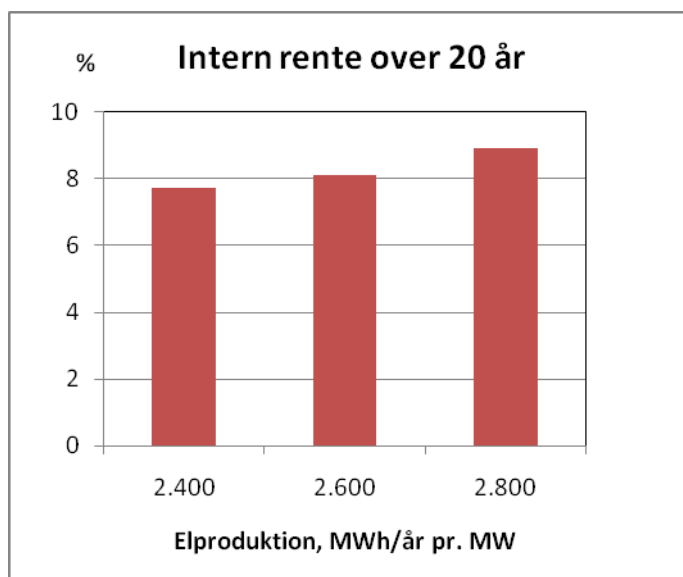
Over skoven forventes der at være lidt større variationen i vindhastighederne fra top til bund af det overstrøgne areal (shear), og en lidt større turbulens. Dette betyder, at lasterne på møllen øges og der derfor må forventes lidt højere omkostninger til vedligeholdelse og service.

Hvor meget driftsomkostningerne øges kan ikke umiddelbart oplyses af møllefabrikanterne, da det er afhængig af den konkrete mølleplacering. De største påvirkninger forekommer normalt tæt på skovkanten, mens der er erfaring for, at der inde over en homogen skov er mindre turbulens mv.

Med forsigtighed skønnes det, at meromkostningerne til vedligeholdelse og service ved en mølleplacering i skoven er beskedne og højst udgør 1 øre/kWh svarende til ca. 10 % af til de traditionelle driftsomkostninger.

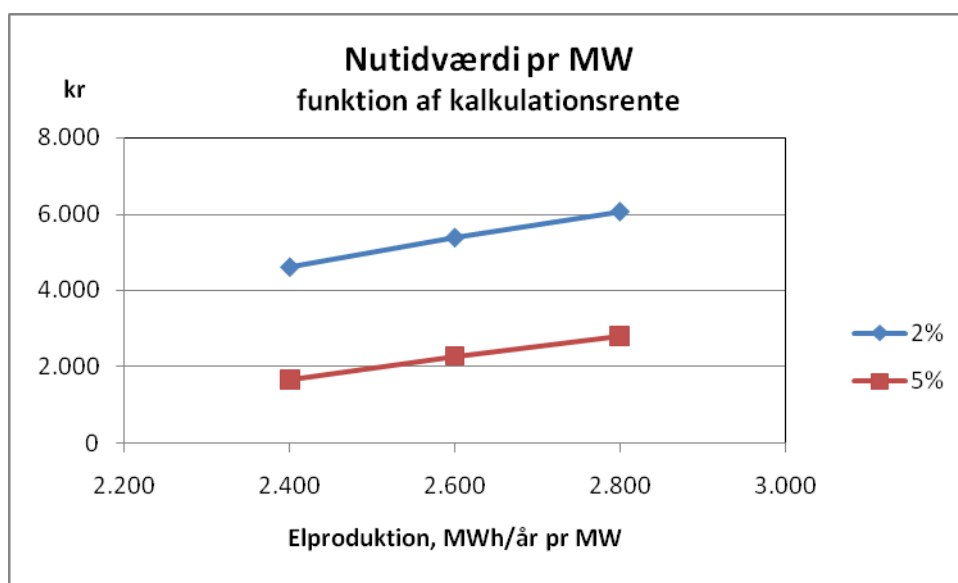
Med forudsætning af en elmarkedspris på 35 øre/kWh fås den interne forrentning af en mølleinvestering over en 20-årig periode i afhængighed af elproduktionen som vist på figur 7.

Den interne rente er på 8-9 % med en elproduktion i intervallet fra 2.400 til 2.800 MWh/år pr. MW. I forhold til den normale forventede forrentning af skovdrift på 2 % over en omdriftsperiode på 60-120 år, /9/, er en investering i vindmøller således meget mere attraktivt.



Figur 7

Dette fremgår også af figur 8, hvor nutidsværdien af investeringen pr. MW over 20 år er 4-6.000 kr. ved en forrentning på 2 % og 2-3.000 ved en forrentning på 5 %. Til sammenligning regnes ved traditionel skovdrift med en nutidsværdi på nul kr. ved 2 % rente over 60-120 år.



Figur 8

Da vindmøllerne ikke forhindrer skovdriften, bortset fra på de små arealer til fundamenter, vil der således kunne opnås en væsentlig forbedring af driftsøkonomien ved opførelse af vindmøller.

Referencer

/1/ Wind profiles and forests (ENMI-2104-0076)

/2/ J. Mann et. al.: Laser measurements of flow over a forest. 14th International Symposium for the Advancement of Boundary Layer Remote Sensing. Earth and Environmental Science 1 (2008) 012050.

/3/ J. Mann et.al.: Wind Profile Measurement over a Forest with Lidar. European Wind Energy Conference and Exhibition 2008.

/4/ Energistyrelsen, Stamdataregisteret for vindmøller.
(<http://www.ens.dk/sw11668.asp>)

/5/ Klosterheden, vandreture i Statsskovene nr. 111. Skov- og Naturstyrelsen (1. udgave 1999)

/6/ By- og landskabstyrelsen, kortbilag til vindmølleplanlægning.
(<http://www.blst.dk/Landsplan/Vindmoeller/>)

/7/ The Economics of Wind Energy. By the European Wind Energy Association, March 2009

/8/ Fremskrivning af Danmarks energiforbrug og udledning af drivhusgasser frem til 2025. Energistyrelsen, juli 2008.

/9/ Skovkulturen i et naturnært perspektiv. Skov- og Naturstyrelsen, september 2003.

